

## 無線ネットワークのための速度を考慮した ファジィハンドオーバーアルゴリズムに関する研究

佐藤 丈紀† 長田 陽成† 東島 基士† バロリ レオナルド‡ 小山 明夫‡†  
†福岡工業大学大学院工学研究科

E-mail: {mgm05006,mgm05009,mgm0512}@ws.ipc.fit.ac.jp

‡福岡工業大学情報工学部

E-mail: barolli@fit.ac.jp

‡‡山形大学工学部

E-mail: akoyama@yz.yamagata-u.ac.jp

近年、携帯電話や PHS などの移動体端末所持者の伸び率は鈍化傾向にはあるものの依然として増加しており、有限の資源である周波数の帯域不足が懸念されている。現在、携帯電話などの移動体端末システムはセルラー方式を採用しており、基地局のカバーエリアであるセルが重ならないように配置がなされている。しかし、実際は隣り合うセルの境界付近ではお互いの基地局からの電波がオーバーラップしており、ハンドオーバーを行ったほうがより効果的である場合が存在する。本論文では、ファジィ推論を用いて移動体端末所持者の移動速度に応じたハンドオーバー判断を行うアルゴリズムとして、端末所持者の移動速度を判断するサブシステムと、低速移動者と高速移動者それぞれの特性にあった判断を行う 2 つのサブシステムの 3 構成からなるシステムを提案する。また、シミュレーションを行い、本システムについての評価も行う予定である。

### A Speed-Aware Fuzzy-based Handover Algorithm for Wireless Networks

Takenori Sato† Yosei Nagata† Motoshi Higashijima†

Leonard Barolli‡ Akio Koyama‡†

†Graduate School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology

E-mail: {mgm05006,mgm05009,mgm0512}@ws.ipc.fit.ac.jp

‡Faculty of Information Engineering, Fukuoka Institute of Technology

E-mail: barolli@fit.ac.jp

‡†Faculty of Engineering, Yamagata University

E-mail: akoyama@yz.yamagata-u.ac.jp

#### Abstract

Presently, the wireless mobile networks and devices are becoming increasingly popular to provide users the access anytime and anywhere. The mobile systems are based on cellular approach and the area is covered by cells that overlap each other. In mobile cellular system the handover is a very important process. It refers to the mechanism by which an ongoing call is transferred from one Base Station (BS) to another. The performance of the handover mechanism is extremely important to maintain the desired Quality of Service (QoS). Many handover mechanisms are proposed in literature. However to make a better decision and keep the QoS is very difficult in wireless networks. In this paper, we propose a speed-aware fuzzy-based handover algorithms. The proposed algorithm has 3 subsystems. The performance evaluation via simulations shows the proposed algorithm a good handover decision.

#### 1. はじめに

近年、携帯電話や PHS などの移動体端末所持者の伸び率は鈍化傾向にはあるものの、依然として増加している。2005 年 10 月現在の携帯電話と PHS を合わせた加入者台数は 93,612,600 台と、大人か

ら子供まであらゆる人々が所持するようになった [1]。それによって、よりいつでもどこでもだれでもコミュニケーションを図ることが可能になった。しかし、それによって有限の資源である移動体端末で使用する周波数の帯域不足が叫ばれるようになり、帯域の効率的な利用必要になっている。

現在の携帯電話などの移動体端末システムはセルラー方式を採用しており、基地局のカバーエリアであるセルが重ならないように配置設計がなされている[2][3]。しかし、実際は隣り合うセルの境界付近においてはお互いの基地局からの電波がオーバーラップしており、セル内に位置していても隣接セルへとハンドオーバーを行ったほうがより効果的である場合が考えられる。また、人の行動はあいまいであるため、頻繁なハンドオーバー(ピンポン効果)を起ささないように考慮する必要がある。

ハンドオーバーに関する研究の多くは信号強度を基準とした研究が多い[4][5][6]。本論文では、ファジィ推論を用いて移動体端末所持者の移動速度に応じたハンドオーバー判断を行うアルゴリズムとして、端末所持者の移動速度を判断するサブシステムと、それによって低速移動者または高速移動者として分類された場合のそれぞれの特性に合ったハンドオーバーの判断を行う2つのサブシステムの3構成からなるシステムを提案する。

## 2. ファジィ理論

前述したとおり、本研究はファジィ推論による判断を行う。この理論は、定性的な情報や事象を定量的に解説し評価することが可能となる。ファジィという言葉は“あいまい”という意味であり、ファジィ理論はその意味する通り境界をはっきりしないようなあいまいな処理において大変有効な理論である[7]。よって、電波の伝搬というあいまいな情報分野においてもその特性を生かせる分野であるとの考えから、この理論の適用を考えた。なお、推論方法にはMin-Max重心法を用いる。

Min-Max重心法は、最大適合度が1である前件部のメンバーシップ関数と、外部入力の交点である適合度を前件部毎に求める。そして、その各適合度をAND (min) 演算し、求めた適合度で後件部メンバーシップ関数を $\alpha$ -カットする。これを定められたルール毎に繰り返し演算し、後件部をOR (max) 演算することで推論結果として重心を計算する。

## 3. 関連研究

移動体通信における技術の進歩は目覚しく、日々様々な研究がなされるとともに新たな技術が生み出されている。ほんの一例を挙げると、高速ハンドオーバー、モバイルIPなどがある。高速ハンドオーバーとは、その言葉の通りハンドオーバーの高速化技術のことである。またモバイルIPは、複数ネットワークを相互接続した環境において、端末がネットワーク間を移動しても、常に同じIPア

ドレスで継続的に通信することを可能とする、そのようなニーズから誕生した。これは移動体のために開発されたIPで、端末が移動したときに移動前と同一のIPアドレスを使えるようにする技術である。通常、IPアドレスは、サブネット(サブネットワーク)に対して割り当てられるため、端末を移動したときには、異なるIPアドレスを使わなくてはならない。しかし、モバイルIPを使うと、端末のIPアドレスを変えずに移動することができるため、移動したことを知らせることなく、その端末にアクセスすることができる。今後は高速化や大規模への対応が検討されている。

## 4. 提案システム

### 4.1 システムモデル

本研究では、ユーザーの移動速度に応じてハンドオーバーの判断が決定される。図1に本研究のシステムモデルを示す。

まず、ユーザーの移動速度については移動距離と電波のエラー率をもとにファジィ推論により決定される。本システムでは各基地局に3つのFuzzy Logic Controller (FLC)をおく。それらはユーザーの速度を決定するためのFLC1と、低速移動者のハンドオーバーの判断を決定するためのFLC2、そして高速移動者のハンドオーバーの判断を決定するためのFLC3である。以上の構成によって、端末所持者の移動速度に応じた最適なハンドオーバーの判断を行う。

基地局は端末に対して位置を問い合わせる。このとき送信時間を付加し、さらに受信した端末は遅延時間を付加して送信し、基地局での受信時間から距離を算出する。これを二度行うことで移動速度を把握する。また、現基地局と移動可能性のある基地局は端末からの電波のエラー率を測定し、利用者が移動する可能性のある基地局で得られた値を現基地局へ報告し、その基地局のFLC1において利用者の速度状態を推論する。

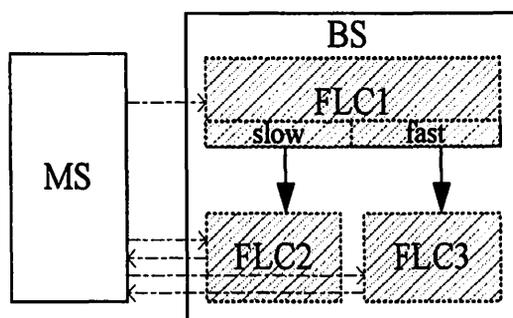


図1 システムモデル

低速であるときは、基地局は信号強度の瞬間変化量を調べる。この信号強度の変化より基地局に対して離脱・接近のどちらの傾向にあるのかを推測することが可能になる。さらに端末は移動可能性のある基地局に対してどのくらいの向きで移動しているのかを報告する。これらで得られた値に基づいてハンドオーバーの判断を決定する因子を算出する。ハンドオーバーする場合、端末とハンドオーバーする基地局に指示する。

高速であるときも同様に、基地局は信号強度の瞬間変化量を調べるが、パラメータとして2点監視を行い報告する。これらで得られた値に基づいてハンドオーバーの判断を決定する因子を算出する。ハンドオーバーする場合、端末とハンドオーバーする基地局に指示する。

## 4.2 Fuzzy Logic Controller (FLC)

本研究は、ファジィ推論によってハンドオーバーの判断を行う。そこで、入力から出力までの一連の流れを処理するのが Fuzzy Logic Controller (FLC)である。FLC は入力されるクリスプな値をファジィ化する Fuzzifier、ファジィ推論を行う上での推論規則を設定している Fuzzy Rule Base (FRB)と、それを適合させて推論を行う Fuzzy Inference Engine (FIE)、推論結果をクリスプな値に戻す Defuzzifier の4構成を成す。図2に FLC の構造を示す。

## 4.3 メンバーシップ関数・FRB

図2に示したとおり本システムは、ユーザーの移動速度を推論するサブシステム FLC1 と、ハンドオーバーの判断を推論するサブシステム FLC2、FLC3 を考えた。図3、4、5に示すのは各サブシステムにおけるメンバーシップ関数である。

FLC1 のメンバーシップ関数における各ファジィ集合は、それぞれ速度について slow、middle、fast、エラー率について small、normal、large、出力パラメータである予測について slow、middle、fast を意味している。

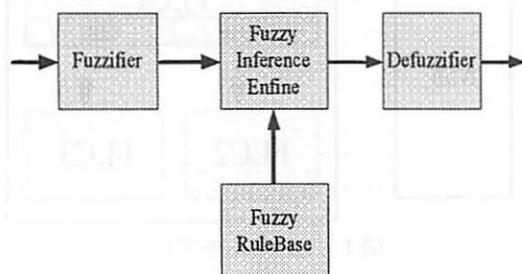


図2 Fuzzy Logic Controller

次に FLC2、FLC3 の各メンバーシップ関数におけるそれぞれのファジィ集合について説明する。FLC2 についての電界強度の変化量  $\Delta I$  は、ある時点における電界強度の変化量のファジィ集合を very negative、negative、around zero、positive、very positive、進入角度のファジィ集合を left、front、right、出力パラメータであるハンドオーバーファクターのファジィ集合を low、medium、high としている。

FLC3 についての電界強度の変化量  $\Delta I_1$ 、 $\Delta I_2$  は、ある時点における電界強度の変化量で negative、around zero、positive、ハンドオーバーファクターは low、medium、high を意味している。なお、FLC3 の  $\Delta I_1$ 、 $\Delta I_2$  については、端末所持者の移動が高速であることを考慮して、出力を高速化するために FLC2 に比べて単純なメンバーシップ関数を設定した。表1、2、3に示すのは FRB である。これらを推論段階で適合させることでハンドオーバーファクターを出力することになる。

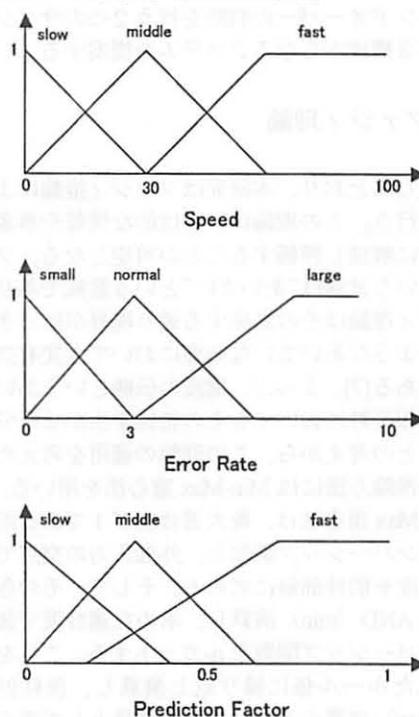


図3 FLC1 のメンバーシップ関数

表1 FLC1 の FRB

Rule	speed	error rate	Prediction factor
1	slow	small	slow
2	slow	normal	slow
3	slow	large	middle
4	middle	small	slow
5	middle	normal	slow
6	middle	large	middle
7	fast	small	middle
8	fast	normal	fast
9	fast	large	fast

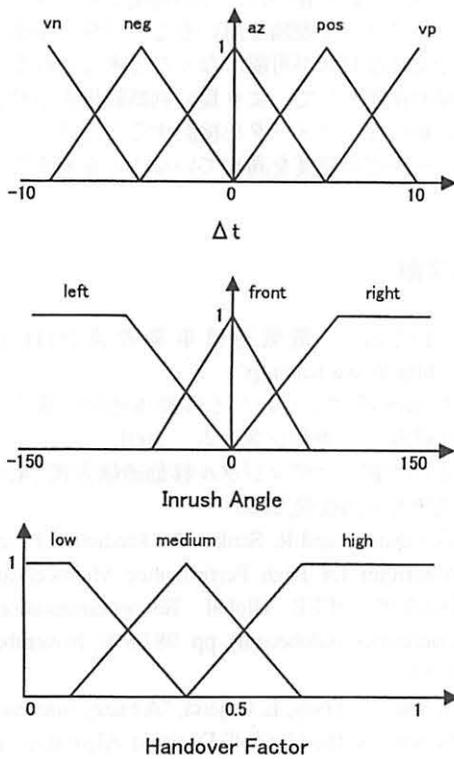


図4 FLC2のメンバーシップ関数

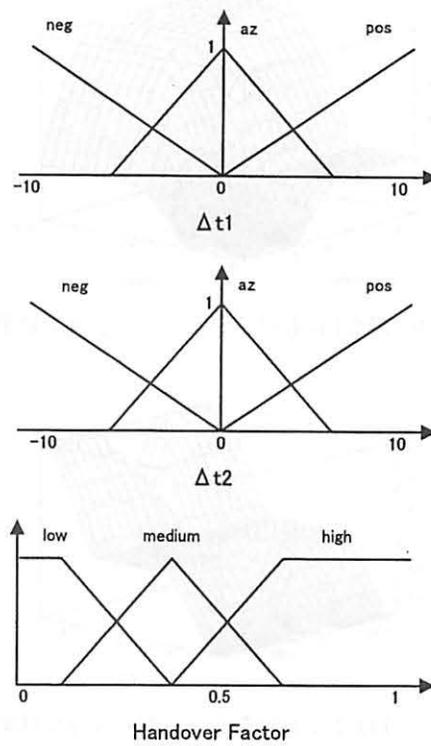


図5 FLC3のメンバーシップ関数

表2 FLC2のFRB

Rule	$\Delta t$	inrush angle	Handoff factor
1	vn	left	high
2	vn	front	med
3	vn	right	high
4	n	left	med
5	n	front	med
6	n	right	med
7	az	left	med
8	az	front	med
9	az	right	med
10	p	left	med
11	p	front	low
12	p	right	med
13	vp	left	low
14	vp	front	low
15	vp	right	low

表3 FLC3のFRB

Rule	$\Delta t_1$	$\Delta t_2$	Handover factor
1	neg	neg	high
2	neg	az	high
3	neg	pos	med
4	az	neg	high
5	az	az	med
6	az	pos	med
7	pos	neg	med
8	pos	az	med
9	pos	pos	low

## 5 シミュレーション

今回提案したシステムにおける FLC1、2、3 それぞれのシミュレーション結果を図6、7、8に示す。

FLC1 では移動速度、エラー率をパラメータとして推論を行い、図6に示す結果を得た。FLC2 もしくは FLC3 のどちらへ引き継ぐかの移動者の移動度因子は閾値を0.3としている。概ね速度が大きいほど、またエラー率が高いほど移動度因子は増加傾向になることを示した。速度がおよそ40km/hを超えるあたりからは、エラー率の値にか

かわらず移動者を高速移動中であると判断する結果となった。

次に FLC2 では信号強度の変化量と、進行方向と現セル内の基地局とのなす角度をパラメータとしている。FLC2 では低速移動として徒歩での移動が考えられ、セル境界を行き来しハンドオーバーを頻繁に繰り返すピンポン効果为了避免のためにハンドオーバー因子の閾値を0.6に設定している。角度については値が小さいほど現基地局に向かってきていることを示しており、ハンドオーバー因子は小さくなる。これについても概ね信号強度が小さくなるほど、またなす角度が高いほどハンドオーバー因子は増加傾向になることを示した。

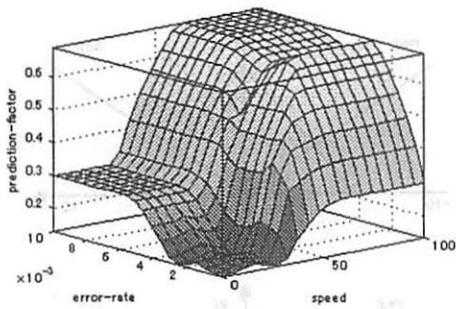


図6 FLC1におけるシミュレーション結果

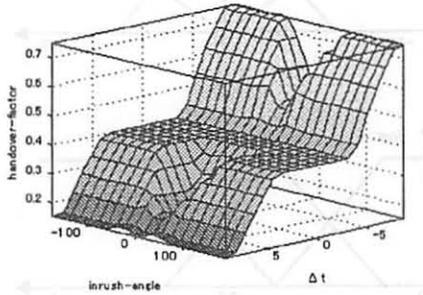


図7 FLC2におけるシミュレーション結果

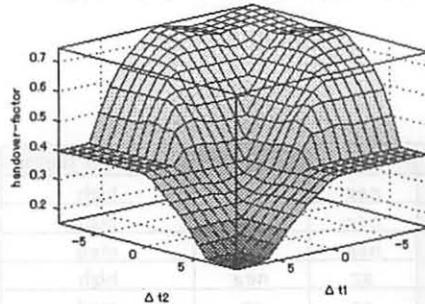


図8 FLC3におけるシミュレーション結果

最後に FLC3 では信号強度の変化量をパラメータとして、これを2回計測することでハンドオーバー因子を出力する。ハンドオーバー因子は FLC2 と同様 0.6 を閾値として設定している。高速移動であれば車などでの移動が想定され、セルを駆け抜ける可能性が低速移動に比べ高くなることや急激な進行方向の変化もそれほど気にする必要もないためピンポン効果が起こることはそれほどないと考えられる。これについても先に述べた2つと同様概ね信号強度が小さくなるほどハンドオーバー因子は増加傾向になることを示した。

## 6 まとめと今後の課題

本論文では、セル間における電波のオーバーラップした領域におけるハンドオーバーの判断アル

ゴリズムについて述べた。今回提案したアルゴリズムは、ファジィ理論を用いることで現行手法と比べて柔軟な判断が可能になったと考えられる。

今後の課題として、より良い判断結果を示せるように新たなパラメータを検討することでハンドオーバー決定の精度を高めていくことを考えている。

## 参考文献

- [1] 社団法人 電気通信事業者協会(TCA), <http://www.tca.or.jp/>
- [2] 杉沼浩司, “よくわかる移動体通信の基本と仕組み”, 秀和システム, 2001.
- [3] 山内雪路, “デジタル移動通信方式”, 東京電機大学出版局, 2000
- [4] G Edwards and R. Sankar, "A Predictive Fuzzy Algorithm for High Performance Microcellular Handoff", IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom), pp. 987-990, November 1997.
- [5] T. Onel, C. Ersoy, E. Cayirci, "A Fuzzy Inference System for the Handoff Decision Algorithms in the Virtual Cell Layout Based Tactical Communications Systems", IEEE Military Communications Conference (MILCOM 2002), pp. 435-440, October 2002.
- [6] K. Ivanov and G Spring, "Mobile speed sensitive handover in mixed cell environment," in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf, pp. 892-896., 1995
- [7] 萩原将文, “ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム”, 産業図書, 1994.